УДК 622.233.43

РАБОЧИЕ ПРОЦЕССЫ ПНЕВМОУДАРНОГО МЕХАНИЗМА ПЕРФОРАТОРА

А.Н. Глазов

Томский политехнический университет
E-mail: ZVM@tpu.ru

Рассматриваются закономерности рабочих процессов и цикла работы ударного узла колонкового перфоратора по осциллограмме работы и по построенным графическим зависимостям: давление-объём газа, давление – удельный объём воздуха, показатели термодинамических процессов и относительного энергообмена по времени, полной внутренней энергии воздуха по пути поршня и по времени, удельной внутренней энергии воздуха по пути поршня.

Введение

В пневматических машинах превращение энергии сжатого воздуха в механическую работу связано с целым комплексом сложных газодинамических и термодинамических процессов. Отсутствие экспериментальных данных о закономерностях и показателях рабочих процессов в камерах пневмоударных механизмов затрудняет создание теории и проектирование ручных и бурильных машин.

В данной работе излагаются результаты исследования рабочих процессов нового пневмоударного узла [1] колонкового перфоратора с независимым вращением бура, который прошёл испытания в лаборатории ВНИПИрудмаша и на руднике Лениногорского полиметаллического комбината. В сравнении с ударным узлом перфоратора ПК 75 у нового механизма расход воздуха меньше на 52...58 %, общий уровень шума ниже на 8...10 дБ, выше техническая скорость бурения, удельный

расход воздуха ниже в 2,3 раза и по данному показателю ударный узел превосходит известные промышленные аналоги.

Термодинамические процессы пневмоударного узла

Ударный узел, рис. 1, содержит цилиндр – 1 с выхлопными окнами *е* и *в*, в котором перемещается поршень – 2. В момент удара энергия движения поршня передаётся штанге – 3. Распределительные органы выполнены в виде клапанов – 4 и 6 и толкателей с ограниченным ходом – 5 и 7, установленных в гнёздах распределительной коробки – 8. Над толкателем – 5 закреплён дроссель – 9. В нижнем положении клапана садятся на клапанную плиту – 10. Камеры *о* и *р* над клапанами сообщаются через командные каналы *с* и *d* с передней и задней камерами цилиндра соответственно. Верхнюю часть цилиндра закрывает крышка – 12. Над распределительной коробкой – 8 установлена крышка – 11. Трубка – 13 служит для подачи промывочной жидкости. Канал *г* является впускным для передней камеры. Отверстие *н*, сообщающееся с атмосферой, выполнено с целью ликвидации противодавления воздуха на торец штока поршня – 2.

В таблице приведены параметры ударного узла без вращателя става, полученные на стенде в ТПУ при работе короткой штангой по бетонному блоку.

Таблица. *Энергетические параметры ударного узла*

Параметр	Обозначение	Размерность	Давление, МПа	
			0,5	0,4
Скорость предударная	V_y	м/с	7,8	6,7
Расход воздуха	Q	м³/мин	4,2	3,4
Частота ударов	n	Гц	37,3	34
Энергия удара	A_y	Дж	164,8	121,7
Ударная мощность	N	кВт	6,105	4,133
Удельный расход воздуха	q	м³/мин·кВт	0,687	0,82

Термодинамическим процессом называют последовательное изменение параметров газа при переходе его из одного состояния в другое. Состояние газа характеризуется давлением, удельным объёмом и температурой. В пневмоударных механизмах протекают процессы при переменной массе газа, зависящие от времени. Анализ рабочих процессов проводился с известными допущениями. Ниже приведены результаты исследования для давления воздуха в сети 0,5 МПа.

Закономерности изменения давления и температуры воздуха в задней и передней от штанги камерах видны из осциллограммы работы узла, рис. 2.

Рис. 3 дает представление о закономерностях индикаторных диаграмм исследованного ударного механизма. Отношение площадей индикаторных диаграмм задней и передней камер больше, чем у многих применяемых типов перфораторов. Наблюдается довольно низкое предвыхлопное давление воздуха.

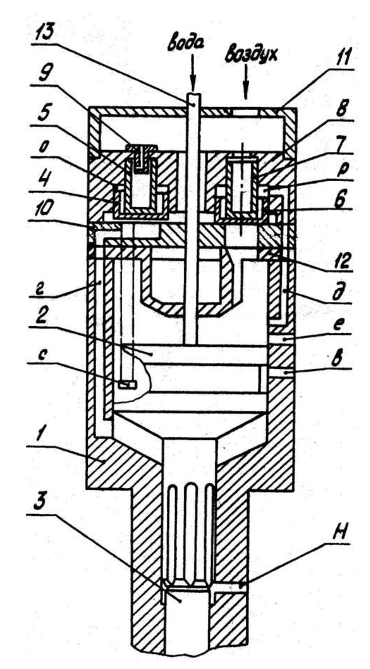


Рис. 1. *Принципиальная схема пневмоударного узла*

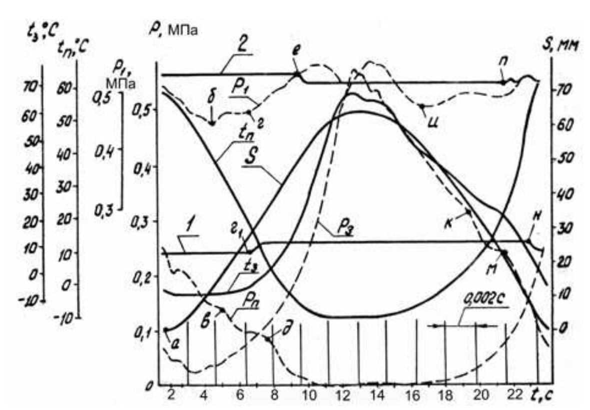


Рис. 2. *Осциллограмма работы ударного узла: 1–2 – перекидка клапанов передней и задней камер; $P_з$, $P_п$, P_1 – давление воздуха в камерах; $t_з$ и $t_п$ – температура воздуха в камерах; S – перемещение поршня*

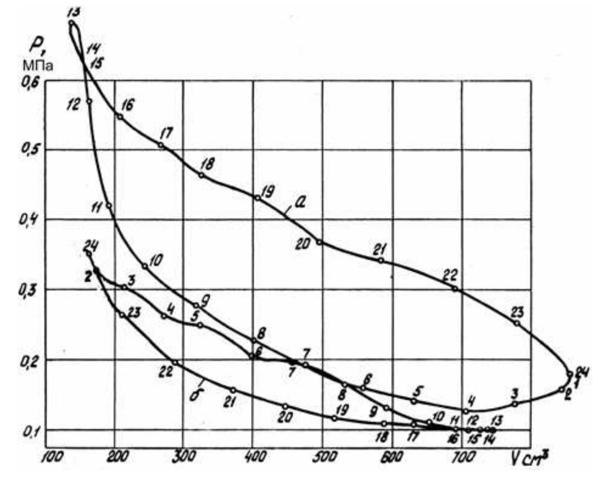


Рис. 3. *Индикаторные диаграммы пневмоударного узла: а) задняя; б) передняя камера цилиндра*

Используя уравнение Клапейрона, были построены диаграммы давление – удельный объем воздуха в рабочих камерах, рис. 4. На рис. 3 и 4 давление воздуха абсолютное. Рассмотрим сущность процессов в камерах (рис. 2–4).

В начале прямого хода поршня (временной участок 13–14) температура воздуха в задней камере равна 68 °С, а давление газа выше 0,5 МПа. Волнообразный характер кривой температуры на участке 12–15, рис. 2, объясняется выталкиванием и последующим поступлением газа из предклапанной полости в заднюю камеру. По мере движения поршня температура воздуха снижается вследствие его впуска и расширения. Удельный объем газа (рис. 4) возрастает, т.е. рабочее тело расширяется и совершает внешнюю работу. Точка *к* на кривой давления P_3 соответствует открытию командного канала *д* (рис. 1) и подаче управляющего импульса на закрытие впускного окна задней камеры. На участке 21–22 начинает открываться выхлопное окно. Воздух истекает в атмосферу, поэтому его давление и температура падают, а удельный объем увеличивается. В начале обратного хода поршня (участок 1–4) продолжается истечение газа из задней камеры. После точки 7 (рис. 2 и 4) параметры воздуха изменяются несколько заметнее, т.к. закрылся командный канал. Повышенная скорость нарастания давления газа на участке 10–13 объясняется сжатием и поступлением нового воздуха из сети.

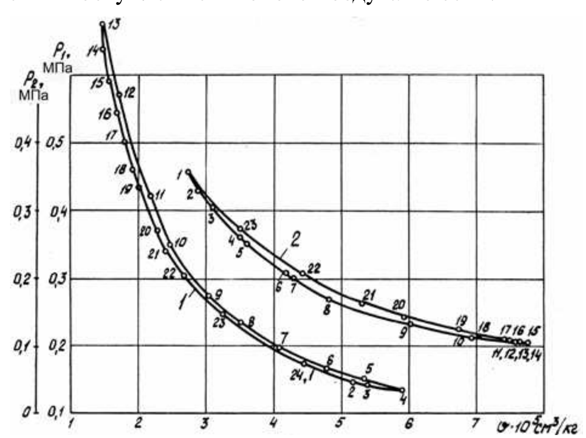


Рис. 4. *Зависимость удельного объема от давления сжатого воздуха для камер цилиндра: 1) задней; 2) передней*

Рассмотрим состояние газа в передней камере. После удара поршня по штанге начинается его обратный ход под действием импульса отскока и давления воздуха. В увеличивающийся объем поступает воздух из предклапанной полости. Давление и температура газа в камере падают, а удельный объем возрастает, т.е. наблюдается расширение рабочего тела. На кривой давления P_n точка *в* соответствует открытию командного канала, а точка *d* – началу выхлопа воздуха из камеры.

Зависимости давление – удельный объем в логарифмических координатах выглядят в виде нескольких отрезков прямых, т.е. реальный процесс складывается из ряда политропных процессов, рис. 5.

Полученные результаты позволяют заключить, что процесс расширения газа близок к адиабатному. Известно, что максимальная работа газа достигается при изотермическом процессе расширения, т.е. при интенсивном подводе тепла. Реально этого не происходит, т.к. во-первых, расширение протекает сравнительно быстро, поэтому подвод тепла от стенки цилиндра незначителен, во-вторых, в камеру поступает холодный воздух из сети. На небольшом временном участке в период остановки поршня наблюдается постоянство удельного объёма воздуха и процесс, близкий к изохорному.

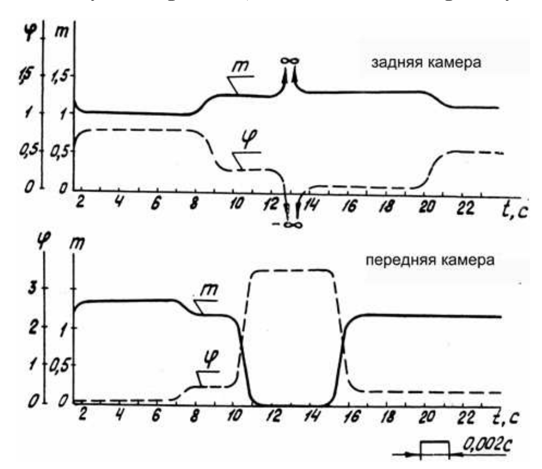


Рис. 5. *Зависимость показателей термодинамического процесса m и относительного энергообмена φ от времени при давлении воздуха в сети 0,5 МПа*

Массоэнергообменные процессы механизма

В цилиндре масса газа изменяется за счет присоединения новых порций сжатого воздуха из сети, отделения небольшой его части в командный канал, выпуска имеющегося в камерах сжатого воздуха в атмосферу через выхлопное окно. Кривая давления воздуха P_1 (рис. 2) в предклапанной полости и диаграммы 1 и 2 работы клапанов позволяют судить о скорости и моментах начала и окончания впуска воздуха в цилиндр. На осциллограмме точки *е* и *н* соответствуют моментам отрыва клапанов от седла, а точки *п* и *г*$_1$ – прекращению впуска воздуха в заднюю и в переднюю камеры соответственно. Точки *к* и *в* соответствуют началу поступления сжатого воздуха в командные каналы, а точки *д* и *м* – началу выхлопа воздуха из камер в атмосферу.

В ударном узле реализован цикл работы с отсечкой камер от предклапанной полости к моменту открытия выхлопных окон. До 20 % времени цикла газ не подается в камеры. В большинстве применяемых пневмоударных механизмов сжатый воздух непрерывно подается в цилиндр. Так, в прототипе – перфораторе ПК 75 около 23 % времени цикла происходит прямое истечение газа из сети через цилиндр и выхлопное окно в атмосферу. Во многих типах ручных молотков и перфораторов такое непроизводительное истечение энергоносителя наблюдается до 32 % времени цикла работы.

Одной из задач, решаемых в области термодинамики, является выявление особенностей преобразования подведенной к рабочему телу в цилиндре энергии. Для определения направленности и характеристик распределения энергии в термодинамической системе служит показатель относительного энергообмена φ, который определялся из зависимости [2]

$$m=k-(k-1)\varphi,$$

где k – показатель адиабаты.

Показателем φ оценивается соотношение между тепловыми и механическими взаимодействиями рабочего тела в камере с внешней средой. Чем выше от нуля значение показателя энергообмена, тем больше тепловое взаимодействие.

В результате взаимодействия рабочего тела в цилиндре с окружающей средой изменяется его внутренняя энергия. Полную U и удельную u внутреннюю энергию определяют по формулам [2]

$$U=pV/k-1;\ u=RT/k-1,$$

где p – абсолютное давление воздуха; V, T – объем и абсолютная температура воздуха, R – универсальная газовая постоянная.

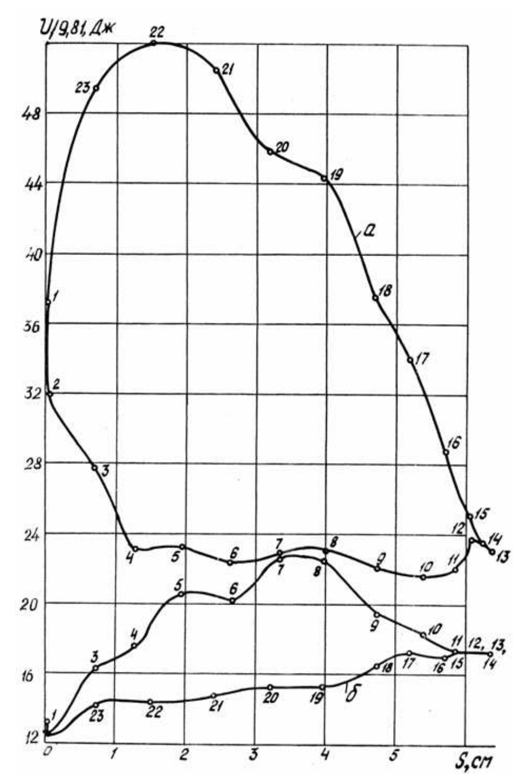


Рис. 6. *Изменение полной внутренней энергии сжатого воздуха по пути поршня: а) задняя; б) передняя камера*

Рассмотрим особенности изменения энергии газа в камерах цилиндра (рис. 6, 7). В задней камере на временном участке 1–4 энергия уменьшается из-за затрат работы на выталкивание и истечение воздуха в атмосферу. Далее давление воздуха увеличивается, но его объем уменьшается. На участке 12–14 энергия газа уменьшается из-за его выталкивания в предклапанную полость.

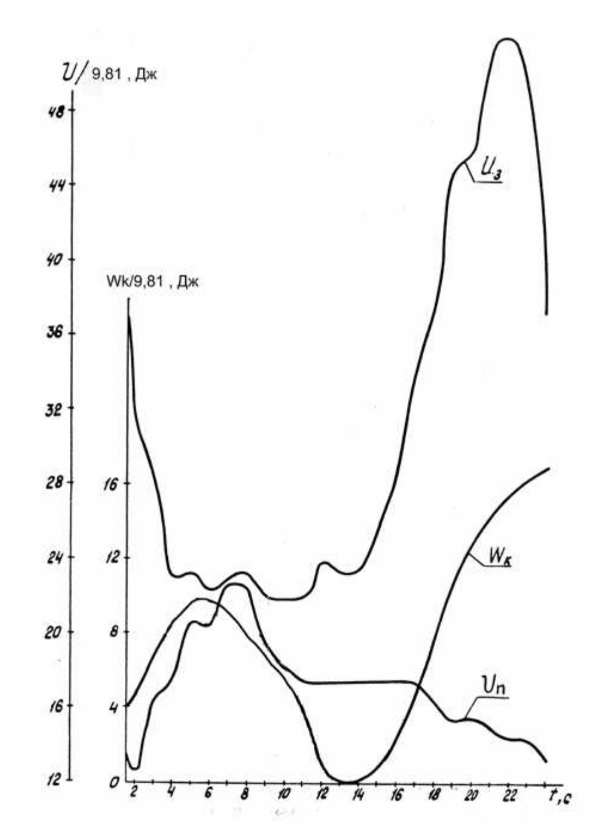


Рис. 7. *Зависимость полной внутренней энергии сжатого воздуха в цилиндре и кинетической энергии поршня от времени: $U_з$, $U_п$ – в задней и передней камерах цилиндра; W_k – кинетическая энергия поршня*

В период прямого хода поршня поступающая энергия идет на повышение внутренней энергии и на механическое взаимодействие с поршнем. Некоторое отклонение от тенденции роста энергии на участке 19–20 наблюдается из-за отделения части воздуха в командный канал. Начиная с участка 21–22 происходит выхлоп воздуха из задней камеры.

В передней камере энергия поступающего газа в период обратного хода расходуется на увеличение энергии рабочего тела и на перемещение поршня. Уменьшение энергии на участке 7–15 связано с прекращением впуска воздуха и с его выхлопом из камеры. В период прямого хода поршня наблюдается снижение энергии рабочего тела из-за утечек через шлицы штока и в командный канал.

Процессы теплообмена между сжатым воздухом в камерах и внешней средой через стенки цилиндра являются, как показали наши исследования [3], составной частью рабочих процессов пневмоударных механизмов. Необходимым и достаточным условием теплообмена является разность температур. Потоки тепла находятся в строгом соответствии с распределением температуры и распространяются по поверхности цилиндра в сторону выхлопного окна, где из-за большой скорости истечения и резкого расширения воздуха происходит охлаждение цилиндра. Наблюдается небольшой нагрев задней части цилиндра благодаря периодическому сжатию газа в задней камере. Передняя часть цилиндра на-

гревается заметнее и в большей степени в результате соударения поршня, штанги и буксы механизма. Температурное поле поверхности задней и передней частей молотка одномерное, а в зоне выхлопных окон двумерное:

$$t=t(x,y,\tau),$$

где x, y – координаты точек; τ – время работы механизма. При одномерном поле $dt/dy=0$. Таким образом, экспериментально установлено, что в пневмоударном механизме существует отвод тепла от рабочего тела в атмосферу.

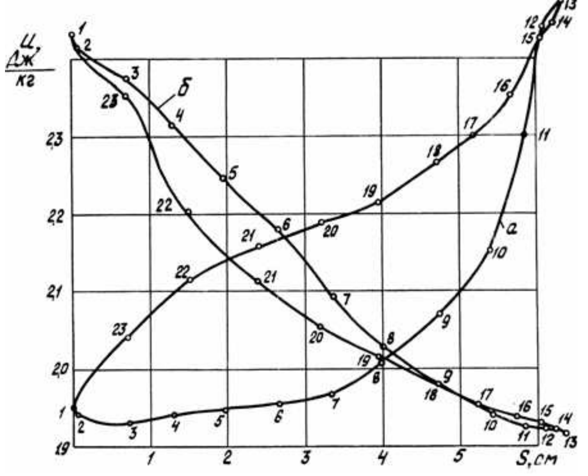


Рис. 8. *Расчетное изменение удельной внутренней энергии воздуха: а) задняя; б) передняя камера*

Характер изменения удельной энергии воздуха в камерах виден из рассчитанных по экспериментальным данным зависимостей (рис. 8). Нижняя ветвь диаграммы характеризует изменение энергии рабочего тела в период уменьшения объема рабочей камеры, а верхняя – при увеличении объема камеры. Из представленных зависимостей следует, что удельная энергия воздуха уменьшается при увеличении объёмов камер.

Заключение

В пневмоударном механизме происходит механическое, тепловое и массоэнергообменное взаимодействие рабочего тела в камерах с внешней средой. Выявлены закономерности изменения параметров рабочих процессов. Установлено, что в камерах протекают процессы с разными показателями политропы. Определены значения показателей термодинамического процесса и относительного энергообмена, что позволяет более обоснованно проводить расчет пневмоударных механизмов.

Доказана возможность создания пневмоударного механизма с низким абсолютным и удельным расходом сжатого воздуха. Показано, что низкий удельный расход воздуха достигнут благодаря применению двух автономных распределительных органов с командными каналами. Особенностями цикла работы созданного механизма являются: отсечка рабочих камер от сети к моменту открытия выхлопного окна, использование внутренней энергии воздуха, максимальное давление газа в задней камере выше сетевого, ассиметрия фаз распределения энергоносителя по камерам, довольно низкое предвыхлопное давление рабочего тела.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 575416 СССР. МКИ^2 E21C 3/24. Устройство ударного действия / В.И. Бабуров, А.Н. Глазов, А.Н. Шайтаров, Е.А. Шаповалов. – Опубл. в Б.И., 1977, № 10.
2. Мамонтов М.А. Основы термодинамики тела переменной массы. – Тула: Тульское книжное изд-во, 1970. – 97 с.
3. Горбунов В.Ф., Глазов А.Н., Бабуров В.И. О нагреве пневматических молотков // Гигиена и санитария. – 1976. – № 8. – С. 109.

УДК 539.3